植 物 分 类 与 资 源 学 报　2011，33（4）：451～457
Plant Diversity and Resources　DOI：10.3724/SP.J.1143.2011.11027

程海水生植被现状及其演变趋势*

董云仙，谭志卫，王俊松
（云南省环境科学研究院，云南 昆明　650034）

摘要：近20年来，程海水生植物种类和群落类型进一步趋于简单化，水生植被覆盖度由24%～75%变为0.2%～85%，分布最大水深虽由4.5 m延伸至5.5 m，分布面积却由527.8 hm^2缩减为73.05 hm^2，资源蕴藏量由4 766吨降低至314.53吨。分析认为：程海南部大面积适生生境破坏、水质污染、水体富营养化、不合理放养草鱼是加剧其水生植被衰退的主要原因。提出了恢复南部湿地、削减入湖污染物、禁止投放草鱼、控制水质污染和水体富营养化等保护对策。

关键词：水生植被；现状；演变趋势；程海
中图分类号：Q 948.8　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095-0845(2011)04-451-07

Current Status and Evolution Trend of Aquatic Vegetation in Chenghai Lake

DONG Yun-Xian，TAN Zhi-Wei，WANG Jun-Song
（*Yunnan Institute of Environmental Science*，Kunming 650034，China）

Abstract：Aquatic species and population in Chenghai Lake had been dramatically changed in recent two decades. Coverage percentage of aquatic vegetation had varied from a range of 24%-75% to that of 0.2%-85%；and its maximum distribution depth had increased from 4.5 m to 5.5 m；but the corresponding coverage area had been shrunk from 527.8 hm^2 to 73.05 hm^2；the resource storage had reduced from 4 766 tons to 314.53 tons. Analysis indicates that destruction of suitable habitat in southern part of the lake，pollution，eutrophication and unreasonable stocking grass carp were the main reasons causing the remarkable decay of aquatic vegetation. Protective measures had been proposed based on wetland restoration in southern part，pollutant reduction，prohibition of stocking grass carp，and control over pollution and eutrophication.

Key words：Aquatic vegetation；Status；Evolution trend；Chenghai lake

水生植被是湖泊生态系统的重要组成部分。关于程海水生植被，曾有李恒（1980；1987）、单振光和李加联（1994）进行过研究。但随着社会经济的快速发展，程海湖周围农业生产方式发生了重大变化，人们的生活方式也发生了很大的改变。东南部湖滨区螺旋藻养殖业从无到有进入稳定的发展期，环境压力持续加大，而在这环境剧烈变化的20多年间，对程海水生植被的研究几乎是空白。本研究是云南省九大高原湖泊水污染防治“十一五”规划项目和云南省科技厅科技攻关项目之一——《程海湖生态系统研究》中的部分内容。该研究在程海设置了23个典型样线，分春夏秋冬4季共5次对程海水生植被进行了调查研究。本文报道了程海水生植被现状及其演变趋势，对其驱动力进行了分析，并提出了保护建议。

* 基金项目：云南省科技厅社会事业发展专项（2009CA002）
收稿日期：2011-02-16，2011-06-30 接受发表
作者简介：董云仙（1964-）女，高级工程师，研究方向：湖泊生态与湖泊保护。E-mail：dongyunxian@sohu.com

1 程海生境特征与研究方法

1.1 程海生境特征

程海地处青藏高原与云贵高原的衔接部位，东经100°33′-100°45′，北纬26°25′-26°40′，行政区划上属于丽江市永胜县。程海湖区位于金沙江干热河谷地区，年平均气温19.1℃，水温20℃，透明度2.8 m，多年平均日照时数2 403.6 h，≥10℃的积温6 616℃。程海湖区充足的光照、热量以及高浓度的营养条件极有利于蓝藻生长，程海蓝藻水华的发生已有三十余年的历史（王若南和钱澄宇，1987）。

程海大约形成于新生代第三纪中期，是喜马拉雅期造山运动形成断裂地堑，中陷低凹之处聚水成湖。程海曾经是一个外流湖，湖水通过程河（又名期纳河）向南30余公里流入金沙江，大约1690年前后，程海湖水位突然快速下降，成为内陆湖泊（吴敬禄等，2002）。湖面海拔高程1 501.0 m，流域面积318.3 km^2，湖面积约75.8 km^2，湖体呈南北向椭圆形展布，南北长19.15 km，东西宽4.3 km，最大水深35.1 m，平均水深25.7 m，蓄水量19.8×10^8 m^3，在云南省九大高原湖泊中位列第四。程海湖形态特征、不同离水涯线直线距离情况下面积与水深和不同水深下湖面面积分别见表1～3。

从表中可以看出：离水涯线直线距离仅10 m，平均水深就达到1.99 m；离水涯线直线距离100 m，平均水深达到7.35 m；程海是一个典型的深水湖泊。从水生植被的生长面积来看，最适宜水生高等植物生长（水深小于3 m）的面积仅占总面积的1.67%，就是达到水生植物的生理极限，其面积也只不过是总面积的2.90%，先天条件决定了程海中水生植物生长面积极其有限。

1.2 研究方法

本研究在生境特征深入调查的基础上，根据水体特点（大小和地势）、底质状况及水生植物的分布情况（分带和覆盖率），设置典型样线23个（图1），每个典型样线调查中视沉水植物的分布梯度由岸边垂直向湖心进行若干次采样，直至找到深水植物分布的外界，随机样点计70～85个。于2009年7、10月，2010年1、4、8月进行了5次调查研究。定量采样时用专用水草夹0.196 m^2或泥夹0.04 m^2定积采集器采集，生物量的测定是将样方内的所有植物连根掘出，洗净后分类称取鲜重。植被分布面积用1∶2000地形图填图和量算。

表1 程海湖湖泊形态特征

Table 1 Morphological characteristics of Chenghai Lake

湖面海拔 Lake elevation	流域面积 Drainage area	陆地面积 Land area	湖泊面积 Lake area	湖泊率 Lake ratio	湖泊补给系数 Lakes supply factor	湖滨带面积 Lakefront area	南北长 North to south	东西宽 East to west
1501.0 m	318.3 km^2	242.5 km^2	75.8 km^2	0.238	4.27	2.65 km^2	19.15 km	5.4 km
平均宽度 Average width	**平均水深 Average depth**	**最大水深 Maximum depth**	**岸线长度 The length of shoreline**	**岸线发育系数 Development coefficient of lake shoreline**	**湖泊形态系数 Morphometric parameter of lake**	**入湖水量 Inlet water of the lake**	**出湖水量 Outlet water of the lake**	**湖泊容积 Storage of lake**
4.3 km	25.7 m	35.1 m	45.1 km	1.462	47.2	1.27 亿 m^3	1.31 亿 m^3	19.8 亿 m^3

表2 程海不同离水涯线直线距离情况下面积与水深（水位1501.0 m时）

Table 2 The water area and water depth under the different straight-line distance to career line of water of Chenghai lake

离岸距离 The distance from the shore/m	面积 Area /km^2	最小高程 Minimum elevation/m	最大高程 Maximum elevation/m	高程变化范围 Elevation range/m	高程平均值 Average elevation/m	标准差 Standard deviation	平均水深 Average depth/m
10	0.47	1490.46	1501	10.54	1499.01	1.73	1.99
30	1.41	1483.73	1501	17.27	1497.99	2.51	3.01
50	2.34	1478.24	1501	22.76	1496.65	3.63	4.35
100	4.65	1471.79	1501	29.21	1493.44	5.98	7.56

表3 程海湖不同水深下湖面面积（水位1501.0 m时）

Table 3 The lake area at different depth of Chenghai lake

水深 Depth/m	<1.0	1—3	3—5	5—10	10—15	15—20	>20	合计
面积 Area/km^2	0.254	1.014	0.929	2.980	4.047	6.141	60.390	75.8
比例 Proportion/%	0.33	1.34	1.23	3.93	5.34	8.11	79.72	100

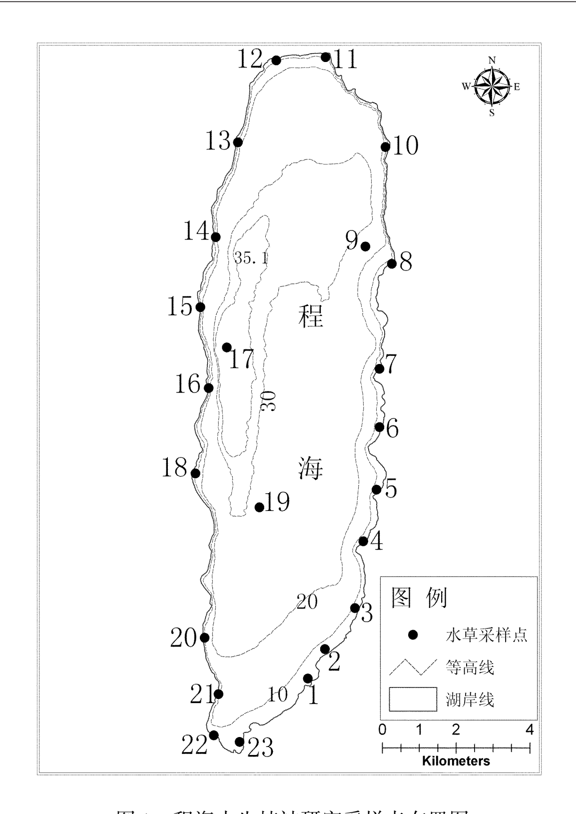


图 1　程海水生植被研究采样点布置图

Fig. 1　Sampling points of aquatic vegetation of Chenghai lake

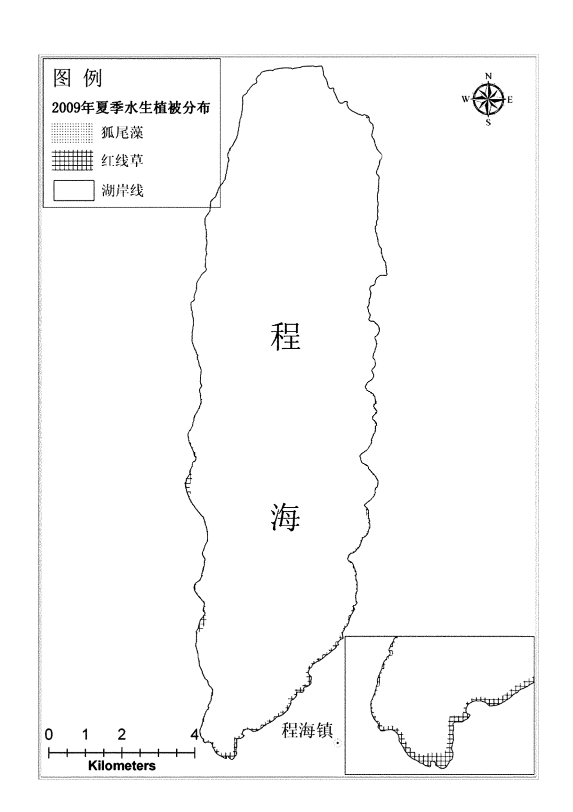
2　研究结果

2.1　种类组成与群落类型

程海湖水生大型植物种类贫乏，有 14 科 14 属 15 种（李恒，1980，1987；单振光和李加联，1994），能形成群落的植被类型仅有红线草（*Potamogeton pectinatus*）和狐尾藻（*Myriophyllum spicatum*）2 种，缺少浮叶植物群落、挺水植物群落和湿生植物群落。红线草分布范围最广，是构成程海水生植被的优势类群；狐尾藻在程海湖中常见，但多呈点状分布。苦草（*Vallisneria natans*）仅于 2009 年 10 月在湖西南部金蓝村近岸处发现，分布水深约 4 m，面积很小，在程海中处于濒临消亡的状态；而辣蓼（*Polygonum hydropiper*）、棒头草（*Polypogon fugax*）、柳叶菜（*Epilobium hirsutum*）、豆瓣菜（*Nasturtium officinale*）、狼把草（*Bidens tripartita*）等植物种类零星分布于湖南部田间地头，已不呈群落形式存在。

2.2　分布现状

程海湖水生植被的分布现状见图 2。



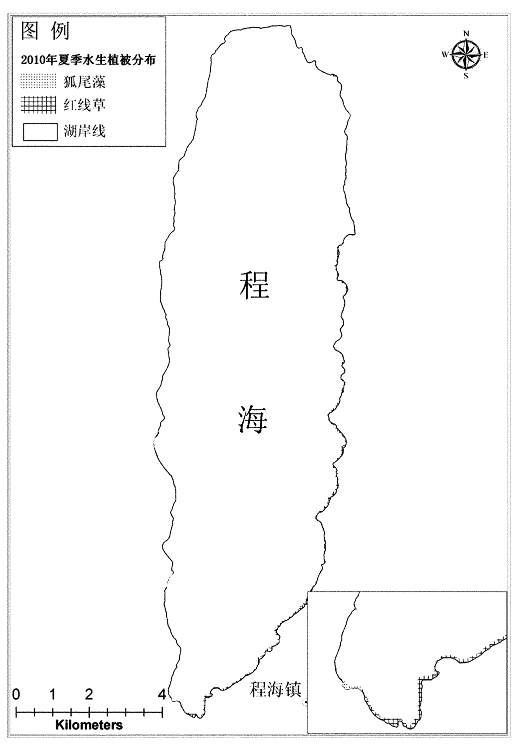


图 2　程海水生植被分布现状图

Fig. 2　The current distribution of aquatic vegetation in Chenhai

程海湖水生植被分布范围极其有限，分布面积46.12～115.98 hm^2，平均75.94 hm^2（表4），占湖泊总面积的1.0%。其中，冬季分布面积最小，仅占湖泊总面积的0.61%；春季分布面积次低，占0.74%；秋季分布面积高于春季，占1.17%；夏季分布面积最大，但研究期间两个年度差异显著，2010年夏季分布面积73.05 hm^2，占总面积的9.6%，2009年夏季分布面积115.97 hm^2，占总面积的1.53%（图2）。程海湖水生植被的分布主要受底质、水深、透明度、风浪、人为活动的影响，特别是底质类型，对水草的分布和群落的生物量有决定性的作用，底质类型为泥、泥沙的区域一般有水草分布，而且生物量相对大一些，而沙砾、沙底质类型的区域水草分布稀疏，生物量较低。程海湖两种水生植被群落类型分布现状分述如下：

（1）红线草群落　该群落在程海全湖近岸带皆有分布，分布水深0.5～5.5 m。南部湖湾基本呈带状分布，自岸向湖心约100 m，是全湖分布最大最密集的区域；东、西部因生境不同，呈点状分布，是相对较多的区域；北部湖湾中分布于自岸向湖心直线距离10 m范围之内，分布面积相对较小。已有研究表明，红线草是生态幅度最宽的一种水草，发展了多种多样的繁殖策略（陈开宁等，2003），能适应各种各样的水环境（高键等，2006；苏睿丽和李伟，2005；陈开宁等，2002a，2005），在有大量蓝藻胁迫的条件下其生物量变化不大（陈德辉等，2004；陈开宁等，2002b）。红线草在程海湖中的分布状况亦如此。

（2）狐尾藻群落　狐尾藻分布于除西北沿岸之外的近岸水域，分布水深为1.5～5.5 m，一般4 m水深处相对丰富，多分布于自岸向湖直线距离10 m范围内，底质适宜区延伸至直线距离10～25 m之间。程海中狐尾藻分布稀疏，多为红线草群落的伴生种，仅在湖西南部有一小片狐尾藻生长密集区，能形成以狐尾藻为主的群落。

2.3　群落结构特征

程海的水生植被不仅群落类型少，结构也十分单一，群落结构特征如下：

（1）红线草群落　红线草群落基本为单优势种，层次单一，结构简单，部分群落中伴生有狐尾藻。随着季节变化，红线草群落外貌有一定差异。

春季：大部分植株萌发生长，分布水深1.5 m以内，群落盖度1%～30%，全湖平均覆盖度不足10%，植株细弱，长度5～26 cm；单位面积生物量168.36～1530.61 $g \cdot m^{-2}$（鲜重，以下同），平均生物量为32.41 $g \cdot m^{-2}$。

夏季：植物生长最为旺盛的时期，而且进入繁殖期，生长水深0.8～5.5 m，群落覆盖度45%～85%，平均覆盖度64.2%（2009年夏季），植株最长达到280 cm，一般70～80 cm。但是，在2010年同一季节，群落覆盖度下降为0.2%～85%，平均覆盖度29.5%，植株生长不好，平均高度50 cm左右。覆盖度下降的同时，生物量也下降，2009年单位面积生物量为204.1～11632.6 $g \cdot m^{-2}$，平均生物量为2785.13 $g \cdot m^{-2}$；而2010年单位面积生物量却只有175～4037.5 $g \cdot m^{-2}$，平均444.42 $g \cdot m^{-2}$，2010年夏季与2009年同一季节相比，平均生物量下降为原来的16.0%，研究期间水生植被发生着显著的变化。

表4　程海湖水生植被分布面积与资源量

Table 4　Distribution area and resources of aquatic vegetation in Chenhai lake

时间 Time	红线草 *Potamogeton pectinatus*		狐尾藻 *Myriophyllum spicatum*		水生植被 Aquatic vegetation	
	分布面积 Distribution area /hm^2	资源量 Resources /t	分布面积 Distribution area /hm^2	资源量 Resources /t	分布面积 Distribution area /hm^2	资源量 Resources /t
July, 2009	111.97	3118.42	4.01	23.73	115.98	3142.15
Oct., 2009	84.02	714.49	4.61	26.81	88.63	741.30
Jan., 2010	42.94	6.06	3.18	2.46	46.12	8.52
April, 2010	52.49	17.01	3.45	3.31	55.94	20.32
Aug. 2010	69.23	307.67	3.82	6.85	73.05	314.52
平均 Average	72.13	832.73	3.81	12.63	75.94	845.36

秋季：进入秋季，大部分红线草已开始腐烂，约有 20% 活体植株，秋季活体植株分布退缩到 1.2 ~ 2.5 m 水深处。群落覆盖度 1% ~ 80%，平均 23.7%，与上一季度相比，平均覆盖率减少了 40.5%。此时，单位面积生物量 135 ~2997.4 $g\cdot m^{-2}$，平均生物量为 850.420 $g\cdot m^{-2}$，单位面积生物量比上一季度减少了 69.5%。

冬季：红线草基本已经腐烂，但也有个别活体植株，活体植株不超过 5%；生物量为 153.1 ~765.3 $g\cdot m^{-2}$，平均生物量为 14.12 $g\cdot m^{-2}$，又在秋季的基础上减少了 98.3%。

（2）狐尾藻群落　程海湖中狐尾藻群落结构与外貌周年的变动情况为：

春季：单位面积生物量为 10.20 ~501.23 $g\cdot m^{-2}$，平均生物量为 96.05 $g\cdot m^{-2}$。

夏季：单位面积生物量为 795 ~2892.5 $g\cdot m^{-2}$，平均生物量为 179.35 $g\cdot m^{-2}$，单位面积生物量增长了 86.7%。课题组还调查了 2009 年夏季水草情况可作比较，2009 年 7 月狐尾藻单位面积生物量有 51 ~2729.6 $g\cdot m^{-2}$，平均生物量为 592.64 $g\cdot m^{-2}$，两个年度同一季节相比，2010 年单位狐尾藻生物量仅相当于前一年度的 30.3%。

秋季：秋季狐尾藻季相变化不如红线草明显，2009 年 10 月调查时皆为活体植株，单位面积生物量 331.6 ~1811.2 $g\cdot m^{-2}$，平均生物量为 581.489 $g\cdot m^{-2}$。比较上一季度，单位面积生物量减少了 1.9%。

冬季：程海冬季狐尾藻生长状况比红线草良好，单位面积生物量还有 102 ~408.2 $g\cdot m^{-2}$，生物量为 77.35 $g\cdot m^{-2}$。虽然减少了 86.7%，但减少幅度较红线草低 11.6 个百分点。

2.4　资源量变化

（1）红线草资源量变化　2009 年 7 月–2010 年 8 月程海湖红线草分布面积和资源量变化见图 3。

图 3 表明：红线草分布面积和生物量最高峰是在 2009 年 7 月，最低谷出现于 2010 年 1 月，但值得关注的是：2010 年 8 月，红线草分布面积和生物量虽然达到当年最高时期，仅分别相当于前一年的 61.8% 和 9.9%。

（2）狐尾藻资源量变化　2009 年 7 月–2010 年 8 月程海湖狐尾藻分布面积和资源量变化见图 4。图 4 表明：狐尾藻分布面积和资源量最高峰出现在秋季，最低谷出现于冬季。狐尾藻分布面积周年变化幅度不如红线草明显，但资源量变化幅度也较大。

（3）全湖水草资源量变化　研究期间 5 次调查结果：程海水生植被资源量 8.52 ~ 3142.15 吨。其中，2009 年夏季最高，有 3142.15 吨，进入秋季水草衰老死亡，10 月调查时有资源量 88.63 吨，97.2% 已经腐烂分解。来年冬天，程海中水生植被资源量呈现最低谷期，资源量仅存 8.52 吨；春季水草萌发生长，资源量增加到 20.32 吨，比冬季增长了 138.5%；夏季又比春季增长 144.8%，水生植被资源量达到年内最高峰，资源量 314.53 吨（2010 年夏季）。2009 年 7 月–2010 年 8 月程海湖水生植被分布面积和资源量变化见图 5。

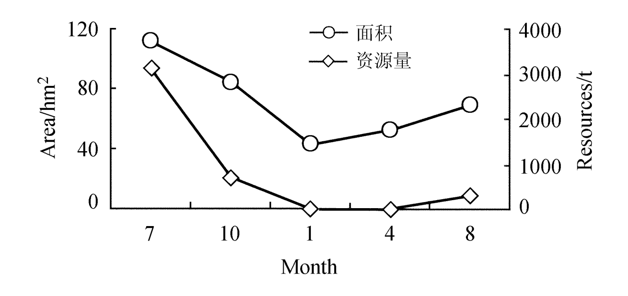


图 3　2009 年 7 月–2010 年 8 月程海湖红线草分布面积和资源量变化

Fig. 3　The dynamic variations of the distribution and resource of the *Potamogeton pectinatus* of Chenhai lake from July 2009 to August 2010

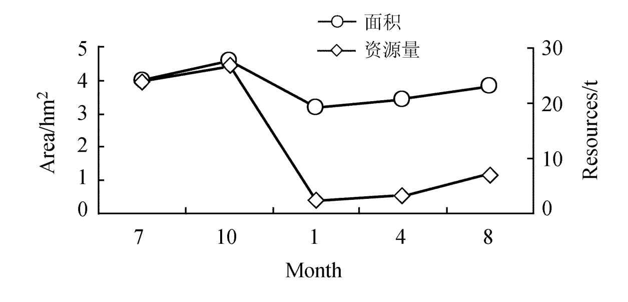


图 4　2009 年 7 月–2010 年 8 月程海湖狐尾藻分布面积和资源量变化

Fig. 4　The dynamic variations of the distribution and resource of the *Myriophyllum verticillatum* of Chenhai lake from July 2009 to August 2010

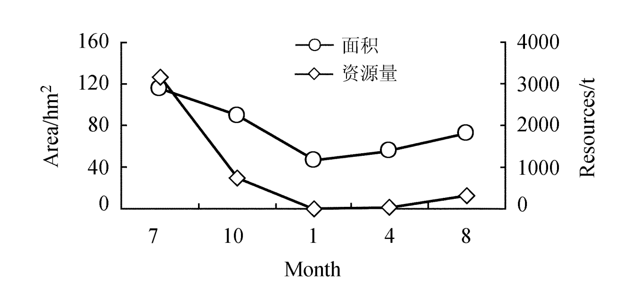


图5 2009年7月-2010年8月程海湖水生植被分布面积和资源量变化

Fig. 5 The dynamic variations of the distribution and resource of the aquatic vegetation of Chenhai lake from July 2009 to August 2010

3 讨论

3.1 程海水生植物种类和群落类型变化

据李恒（1980，1987）、单振光和李加联（1994）记载，程海原有水生高等植物14种，大型低等植物1种（轮藻），隶属14科14属。其中，湿生植物9种，以豆瓣菜、石龙芮（*Ranunculus sceleratus* Linn.）和北水苦荬（*Veronica anagallisaquatica* Linn.）为主；挺水植物1种，扁杆荆三棱（*Bdboschoenus planicalmis*）；沉水植物5种，红线草、狐尾藻、菹草（*Potamogeton crispus*）、苦草和低等植物轮藻。根据植物的生活型、优势种及主要种类组成，将程海水生植物分为北水苦荬+棒头草群落、石龙芮+棒头草、豆瓣菜、扁杆藨草群落、扁杆藨草+红线草+狐尾藻群落、红线草群落、狐尾藻+红线草群落、狐尾藻群落、狐尾藻+苦草群落、苦草群落、菹草群落和轮藻群落等12个群落类型。本次研究与前面学者研究同期相比，程海的湿生植物群落已消失殆尽，辣蓼、棒头草、柳叶菜、豆瓣菜、狼把草等湿地植物虽可见到，但已不呈群落形式分布，呈群落形式分布的只有红线草群落和狐尾藻群落，对程海生态系统有重要意义的挺水植物如扁杆藨草和沉水植物如菹草、轮藻也已找不到踪迹。程海植物种类和植被类型进一步趋于简单化。

3.2 水生植被覆盖度下降和分布水深变浅

1992年7-8月，程海湖水生植被平均覆盖度24%～75%，分布最大水深4.5 m；而2010年8年，覆盖度为0.2%～85%，水深0.5～5.5 m，底质适宜区分布水深延伸，但干扰较大区域覆盖度降低。

3.3 水生植被分布面积萎缩

1992年7-8月程海湖水生植被分布面积为527.8 hm^2，占湖泊总面积的6.96%。但在2010年8月植物群落的分布面积为73.05 hm^2，占湖泊总面积的0.96%。现状分布面积仅是1992年的13.84%，水生植被分布面积的减少，对于程海湖生态保护和水质保护十分不利。

3.4 水生植被生物量与资源蕴藏量下降

1992年7-8月水生植被平均生物量120～3 400 $g \cdot m^{-2}$，其中，轮藻群落平均生物量最小，北水苦荬+棒头草群落生物量最大，红线草群落平均生物量1 736 $g \cdot m^{-2}$，最大生物量1 946 $g \cdot m^{-2}$；狐尾藻群落平均生物量1 000 $g \cdot m^{-2}$，最大生物量3 894 $g \cdot m^{-2}$，全湖水生植被资源量为4 766吨。2010年8月，红线草群落175～4 037.5 $g \cdot m^{-2}$，平均生物量444.42 $g \cdot m^{-2}$；狐尾藻群落795～2 892.5 $g \cdot m^{-2}$，平均生物量为179.35 $g \cdot m^{-2}$，水生植被资源量314.53吨。2010年与1992年同期相比，2010年红线草群落平均生物量相当于1992年的25.6%；狐尾藻群落平均生物量相当于1992年的17.9%；2010年水生植被资源量相当于1992年6.6%。

3.5 2010年夏季与2009年夏季水生植被变化原因分析

研究期间程海水生植被发生着显著的变化，表现在水生植被覆盖度由2009年夏季的64.2%减缩为2010年夏季的29.5%；单位面积生物量由2009年夏季的2 785.13 $g \cdot m^{-2}$减少为2010年夏季的444.42 $g \cdot m^{-2}$；分布面积由2009年夏季的115.98 hm^2减少为2010年夏季的73.05 hm^2，资源蕴藏量由2009年夏季的3 142.15吨减少至2010年夏季的314.52吨。究其原因，主要有三方面。一是生态环境变化的原因：程海蓝藻水华爆发，水体透明度由2009年夏季的2.22 m降低为2010年夏季的1.25 m，水草生境恶化，在其萌发和生长季节不能及时获得足够的阳光照射。二是错误的生物干预：程海湖不恰当地投放草鱼鱼苗，对本来就极其有限的水草资源造成直接危害。三是近20年来人为活动下大量污染物进入程海后，水体中TP、TN含量已经分别升高到0.046 $mg \cdot L^{-1}$和0.773 $mg \cdot L^{-1}$。高浓度的生源要

素刺激浮游藻类和着生藻类生长，藻类植物生长以旬为周期，不断生长、死亡、腐烂、分解，加速了水体物质循环速率，降低了水体透明度。同时，着生于水草上的附着藻类大量滋生，进一步减弱沉水植物的光照，这种湖体内生物地球化学循环的结果，其生态积累效应是沉水植物种群一步步地减少，直至消亡。

3.6 程海水生植被变化驱动力分析

1992 年以来，程海水生植物种类减少，群落类型减少，分布面积和生物量降低趋势已经十分明显，其驱动力主要有：(1) 程海水生植被主要适生生境——湖南部大面积湿地被开垦为螺旋藻养殖基地、农田和村落建设用地，人为不合理利用湿地对水生植被造成直接危害；(2) 水质污染、水体富营养化导致水体透明度降低，水生植物对光的可获得性变差，威胁着水生植物；(3) 不合理放养草鱼，加剧水草衰亡。

3.7 保护建议

针对程海水生植被衰退现状，项目组提出如下建议：(1) 恢复程海南部大面积生态湿地（距离湖边 500 m 以内的区域），采取人工措施修复生境，人工辅助恢复水生植物生物多样性。(2) 推进沿湖村落环境综合治理、入湖河道综合治理、农业面源污染防治、面山林业生态修复、环湖生态建设、云南绿 A 生物产业园建设“程海 6 大工程”实施进度，大力削减入湖污染物量，控制水质污染和水体富营养化。(3) 湖内禁止投放草鱼等草食性鱼类。

〔参 考 文 献〕

Chen DH (陈德辉), Liu YD (刘永定), Song LR (宋立荣), 2004. The allelopathy of macrophyte *Potamogeton pectinatus* L. on chlorophyta (scenedesmus obliquus) and cyanobacteria (microcystis aeruginosa) and calculation of allelopathic parameter [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **28** (2): 163—168

Chen KN (陈开宁), Qiang S (强胜), Li WC (李文朝), 2002a. Photosynthetic rate in *Potamogeton pectinatus* L. and factors of influence [J]. *Journal of Lake Sciences* (湖泊科学), **14** (4): 357—362

Chen KN (陈开宁), Li WC (李文朝), Wu QL (吴庆龙) *et al*., 2002b. Impacts of Cycanobacteria on the Growth of Submerged Macrophytes, Dianchi Lake [J]. *Journal of Lake Sciences* (湖泊科学), **15** (4): 364—368

Chen KN (陈开宁), Qiang S (强胜), Li WC (李文朝) *et al*., 2003. Studies on reproduction diversity in potamoneton pectinatus [J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **27** (5): 672—676

Chen KN (陈开宁), Li WC (李文朝), Pan JZ (潘继征), 2005. Influence of different treatments on seed germination rates of *Potamogeton pectinatus* L. [J]. *Journal of Lake Sciences* (湖泊科学), **17** (3): 35—36

Gao J (高健), Xiong Q (熊勤), Li Z (李祝) *et al*., 2006. Effects of dissolved oxygen, pH and other physico- chemical factors on the seed germination of potamogeton pectinatus [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **30** (5): 524—529

Li H (李恒), 1980. A stady on the lake vegetation of yunnan plateau [J]. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **2** (2): 113—141

Li H (李恒), 1987. The lake vegetation of hengduan mountains [J]. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **9** (3): 257—270

Shan ZG (单振光), Li JL (李加联), 1994. Study on aquatic vegetation in chenghai lake, Yunnan [J]. *Journal of Yunnan Normal University* (Natural Science) (云南师范大学学报-自然科学版), **14** (1): 66—71

Su RL (苏睿丽), Li W (李伟), 2005. Advances in research on photosynthesis of submerged macrophytes [J]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **22** (增刊): 128—138

Wang RN (王若南), Qian CY (钱澄宇), 1987. The blue-green algae in chenghai lake [J]. *Journal of Yunnan University* (Natural Science) (云南大学学报–自然科学版), **9** (1): 87—88

Wu JL (吴敬禄), Jiang XZ (蒋雪中), Xia WL (夏威岚) *et al*., 2002. Climate and primary productivity over the last 500 years of the chenghai lake, Yunnan [J]. *Marten Geology & Quaternary Geology* (海洋地质与第四纪地质), **22** (2): 95—98